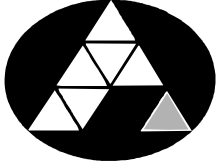


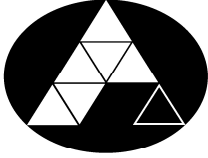
POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Pasi Kinnunen

PUUTAVARAKUORMAIMEN ESIOHJATUN VENTTIILIPÖYDÄN VALINTA

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012

 <p>POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU</p>	<p>OPINNÄYTETYÖ Toukokuu 2012 Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma</p> <p>Karjalankatu 3 80200 JOENSUU p. (013) 260 6800</p>
<p>Tekijä(t) Pasi Kinnunen</p>	
<p>Nimeke Puutavarakuormaimen esiohjatun venttiilipöydän valinta</p> <p>Toimeksiantaja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu</p>	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli korvata puutavarakuormaimen mekaanisesti ohjattu venttiilipöytä paremmalla ratkaisulla. Tavoitteena oli löytää yksityiskäyttöön soveltuva ratkaisu, joka poistaa mekaanisesti ohjatun venttiilipöydän käyttöön liittyvät ongelmat. Ratkaisuksi päädyttiin valitsemaan sähköhydraulisesti esiohjattu venttiilipöytä ja siihen sopivat ohjainkahvat.</p> <p>Valintaprosessissa selvitettiin ratkaisumahdollisuuksia tutustumalla venttiilivalmistajilla tarjolla oleviin tuotteisiin liikkuvan kaluston hydrauliikkaratkaisuihin. Ohjainkahvojen valinnassa kiinnitettiin huomiota helppokäyttöisyyteen ja työergonomiaan. Hydrauliikkakaavion tekemiseen käytettiin hydrauliikkasuunnitteluohjelma FluidSIMiä.</p> <p>Lopputuloksena saatiin valittua tarvittavat komponentit sähköhydraulisesti esiohjattuun venttiilipöytään sekä ohjainkahvat puutavarakuormaimen käyttöä varten. Kuormaimen ohjaamiseen valitut esiohjatut proportionaali-venttiilit mahdollistavat portaattoman ohjauksen ja tukijalkoja ohjataan kahdella ON/OFF-venttiilillä. Venttiilipöydän ja ohjainkahvojen kiinnitys oli rajattu tämän opinnäytteen ulkopuolelle, joten niitä ei käsitelty tässä työssä.</p>	
<p>Kieli suomi</p>	<p>Sivuja 29 Liitteet 2 Liitesivumäärä 2</p>
<p>Asiasanat venttiilipöytä, hydraulikka, puutavarakuormain</p>	

 <p>NORTH KARELIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</p>	<p><b>THESIS</b>  <b>May 2012</b>  <b>Degree Programme in Mechanical and Production Engineering</b>  Karjalankatu 3  FIN 80200 JOENSUU  FINLAND  Tel. 358-13-260 6800</p>	
<p>Author(s)</p> <p>Pasi Kinnunen</p>		
<p>Title</p> <p>Choosing a Pilot-Operated Control Block of Timber Loader</p> <p>Commissioned by</p> <p>North Karelia University of Applied Sciences</p>		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to find a better solution to a mechanically controlled control block of the timber loader, which is used in personal use. The goal was to find the solution which would remove the problems of mechanically controlled control block. The solution was to choose a electro-hydraulically pilot-operated control block and the controllers for it.</p> <p>During the choosing process, solutions were studied by finding out what kind of solutions the manufacturers of the mobile hydraulics would offer. Ease of use and work ergonomics were taken into account when controllers were chosen. Hydraulics design program FluidSIM was used to do the hydraulics drawing.</p> <p>As a result of the choosing process the required components were chosen for electro-hydraulically pilot-operated control block and its controllers. Movements of timber loader are controlled with pilot-operated proportional valves which enable progressive action. Stringer feet are controlled with two ON/OFF-valves. The attachments of the control block and controllers were left outside of the scope of this thesis.</p>		
<p>Language</p> <p>Finnish</p>	<p>Pages 29</p> <p>Appendices 2</p> <p>Pages of Appendices 2</p>	
<p>Keywords</p> <p>control block, hydraulics, timber loader</p>		

## Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto .....	5
3 Hydraulikkajärjestelmät .....	6
3.1 Järjestelmän yleinen toiminta periaate .....	6
3.2 Avoin järjestelmä .....	7
3.3 Suljettu järjestelmä .....	7
3.4 Kuormantunteva järjestelmä .....	7
4 Hydraulikkajärjestelmän komponentit .....	8
4.1 Pumput .....	8
4.11 Hammaspyöräpumput .....	8
4.12 Ruuvipumput .....	9
4.13 Siipipumput .....	10
4.14 Mäntäpumput .....	11
4.2 Venttiilit .....	13
4.21 Suuntaventtiilit .....	14
4.22 Proportionaaliventtiilit .....	15
4.23 Paineventtiilit .....	16
4.24 Virtaventtiilit .....	17
4.3 Letkut ja putket .....	18
4.4 Liittimet .....	19
4.5 Suodattimet .....	20
5 Traktorin työhydrauliikka .....	21
6 Venttiilipöydät ja ohjaimet .....	22
6.1 Venttiilien valinta .....	22
6.2 Ohjaimien valinta .....	25
7 Pohdinta .....	27
Lähteet .....	29

Liitteet

Liite 1	Puutavarakuormaimen hydraulikkakaavio
Liite 2	Esimerkkikuva venttiilipöydästä

## 1 Johdanto

Opinnäytetyö tehdään Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun toimeksiannosta. Työn tarkoituksena on korvata Kronos 4000:a (kuva 1) vastaavan puutavarakuormaimen mekaanisesti ohjattu venttiilipöytä paremmalla ratkaisulla. Nykyinen venttiilipöytä on painava ja se täytyy nostaa traktorin ohjaamoon kuormainta käytettäessä, koska ohjainvivut sijaitsevat venttiilipöydässä.



Kuva 1. Kronos 4000 puutavarakuormain [11].

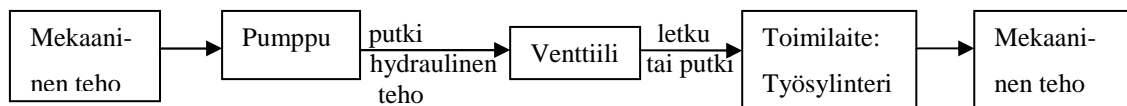
Tarkoituksena on valita sähköhydraulisesti ohjattu venttiilipöytä, koska se voidaan sijoittaa kiinteästi puutavarakuormaimen ja ohjaimet vapaasti traktorin ohjaamoon, jolloin myös työskentelyasento paranee huomattavasti. Lisäksi sähköhydraulinen esiohjaus mahdollistaa tarkemman kuormaimen ohjauksen. Venttiilipöytään tarvittavien komponenttien valinta suoritetaan tutustumalla liikkuvan kaluston hydraulikkaratkaisuja tarjoaviin venttiilivalmistajiin. Ohjauskahvojen on tarkoitus olla helppokäyttöiset, niiden täytyy soveltua hyvin puutavarakuormaimen ohjaamiseen ja mahdollistaa hyvä työskentelyasento. Työstä on rajattu ulkopuolelle venttiilipöydän ja ohjaimien kiinnitykset.

Aluksi työssä esitellään hydraulikkajärjestelmien toimintaperiaatteet sekä niissä käytettävät komponentit ja niiden toiminta. Seuraavaksi käsitellään puutavarakuormainta käyttävän traktorin työhydrauliikan toimintaa, joka määrittää rajat venttiilipöytään valittaville venttiileille. Tämän jälkeen esitellään venttiilit, jotka valitaan käytettäväksi venttiilipöydässä sekä ohjaimet, joilla sitä ohjataan.

### 3 Hydraulikkajärjestelmät

#### 3.1 Järjestelmän yleinen toiminta periaate

Hydraulikkajärjestelmä on tehonsiirtoketju, jossa sähkö- tai polttomoottorilla mekaanisesti tuotettu teho muutetaan hydraulisen pumpun avulla hydrauliseksi tehoksi, joka siirretään putkia ja letkuja pitkin toimilaitteelle, kuten työsylinterille, jossa teho muutetaan jälleen mekaaniseksi. Putkissa olevaa hydraulista tehoa säädetään ja ohjataan erilaisilla venttiileillä [1, s. 1]. Kuvassa 1 on esitetty periaatteellinen kuva hydraulikkajärjestelmän tehonsiirtoketjusta.



Kuva 2: Tehon siirtyminen hydraulijärjestelmässä

Hydraulikkajärjestelmien etuina muihin tehonsiirtotapoihin verrattuna ovat esimerkiksi suunnittelun vapaus, koska teho voidaan siirtää sopivinta reittiä käyttäen haluttuun käyttökohteeseen putkia ja letkuja pitkin, sekä hyvä komponenttien teho-painosuhde, jolloin järjestelmästä saadaan pieni ja kevyt. Lisäksi liikenopeudet ja voimat ovat helposti säädettävissä. [2, s. 3.]

### **3.2 Avoin järjestelmä**

Avoimessa järjestelmässä voi olla joka kiinteä- tai säätötilavuuksinen pumppu, yleensä hammaspyöräpumppu, jonka tuotto riippuu moottorin kierroksista. Pumppu imee öljyn säiliöstä ja ohjaa sen toimilaitteille, josta se palaa takaisin säiliöön työnsä suoritettuaan. Järjestelmän ohjaaminen tapahtuu paineenrajoitus- ja suuntaventtiileillä ja se on yleinen sylinterikäytöissä. Avoimessa järjestelmässä öljy jäähtyy suuressa säiliössä, joten erillistä jäähdytystä ei tarvita. [2, s. 4.]

### **3.3 Suljettu järjestelmä**

Suljetussa järjestelmässä on kahteen suuntaan pumppaava säätötilavuuspumppu, yleensä mäntäpumppu, jolloin toimilaitteen liikesuuntaa ja -nopeutta voidaan ohjata pumpun avulla. Tällaista järjestelmää kutsutaankin pumppuohjatuksi. Järjestelmässä ei ole suurta öljysäiliötä, vaan toimilaitteelta palaava öljy ohjataan suoraan pumpun imupuolelle. Jäähdytystä varten tarvitaan pieni syöttöpumppu ja säiliö. Suljetut hydraulikkajärjestelmät ovat tyypillisiä moottorikäytöissä. [2, s. 5–7.]

### **3.4 Kuormantunteva järjestelmä**

Kuormantuntevaa järjestelmää kutsutaan myös LS-järjestelmäksi (load sensing). Tässä järjestelmässä kuorman painetaso määrää pumpun tuoton eli järjestelmä tuntee kuorman suuruuden ja sovittaa ottotehon tarpeen sen mukaan. Pumppuna käytetään useimmiten säätötilavuuspumppua ja ohjausventtiileissä täytyy olla erilliset kuormantuntokanavat [6, s.79]. Kuormantunteva järjestelmä on monimutkaisempi ja myös kalliimpi kuin aiemmin esitellyt järjestelmät.

## 4 Hydraulikkajärjestelmän komponentit

Hydraulisessa tehonsiirrossa tärkeimpiä komponentteja ovat pumput, sylinterit ja venttiilit. Venttiilien avulla ohjataan toimilaitteita, säädellään paineen ja tilavuusvirran suuruutta, sekä ohjataan tilavuusvirran suuntaa. Olennaisia komponentteja ovat myös letkut ja putket, joiden avulla hydraulikkaöljy kuljetetaan toimilaitteelle sekä suodattimet, jotka pitävät hydraulikkaöljyn puhtaana ja varmistavat näin järjestelmän häiriöttömän toiminnan. Seuraavassa esitellään tarkemmin edellä mainittujen komponenttien toimintaa.

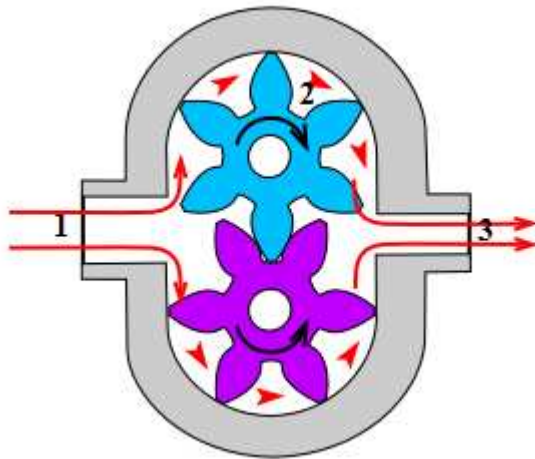
### 4.1 Pumput

Pumpuilla muutetaan mekaaninen teho hydrauliseksi. Pumput voidaan luokitella rakenteen mukaan hammaspyörä-, ruuvi-, siipi- ja mäntäpumppuihin. Hydraulikassa käytettävät pumput toimivat syrjäytysperiaatteella, eli siirrettävä neste suljetaan pumpun sisällä kammioihin, jotka avataan vuorotellen imu- ja paineliitännöihin. Kun kammion tilavuus suurenee, se imee hydraulikkaöljyä säiliöstä ja tilavuuden pienentyessä pumppu poistaa öljyä eli pumppaa sitä muualle järjestelmään. Pumput kuitenkin poikkeavat ominaisuuksiltaan muun muassa hyötysuhteen, käyttöpaineen ja säädettävyyden osalta. [2, s. 137.]

#### 4.11 Hammaspyöräpumput

Yleisimmässä hammaspyöräpumpussa (kuva 3) on ulkopuolisesti sivuavat eli ulkoryntöiset hammaspyörät. Hammaspyöräpumpuissa öljy siirretään imuliitännästä paineliitännään pumppukammion seinämän ja hammaslovien muodostamissa suljetuissa kammioidissa. Hammaspyöristä toinen on kytketty käyttömoottorin akselille ja toinen on vapaasti pyörivä. Hammaspyöräpumput ovat vakiotilavuuspumppuja eli niiden tuottamaa tilavuusvirtaa ei voida muuttaa, niiden hyötysuhde on yleensä alle 90 % ja imukyky sekä tuotto ovat hyviä. [2, s. 151.]



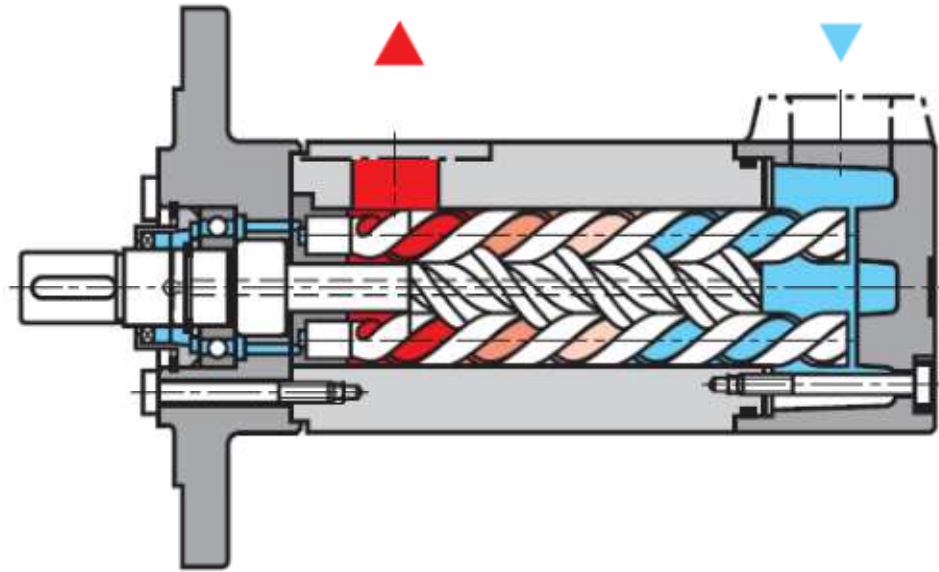


1. Neste sisään imuliitääntään
2. Neste siirtyy hammasloviem muodostamissa kammioissa
3. Neste ulos paineliitännästä

Kuva 3. Ulkoryntöinen hammaspyöräpumppu [3].

#### 4.12 Ruuvipumput

Ruuvipumppuja on yksi-, kaksi- ja kolmeruuvisia, joista viimeksi mainittu on yleisin (kuva 4). Pumpuissa neste siirretään imukanavasta painekanavaan ruuvien ja pumpun seinämän muodostamissa suljetuissa kammioissa. Kolmeruuvisessa pumpussa keskiruuvi on vetävä ja muodostaa akselinpään, sivuruuvit pyörivät keskiruuvien käyttämänä ja muodostavat tiivistyskohtia estäen nesteen pääsyn takaisin imupuolelle. Ruuvipumput ovat vakioilavuuksisia, niillä on hyvä imukyky, erittäin tasainen tilavuusvirran tuotto ja niiden hyötysuhde on noin 80 %. [2, s. 156.]

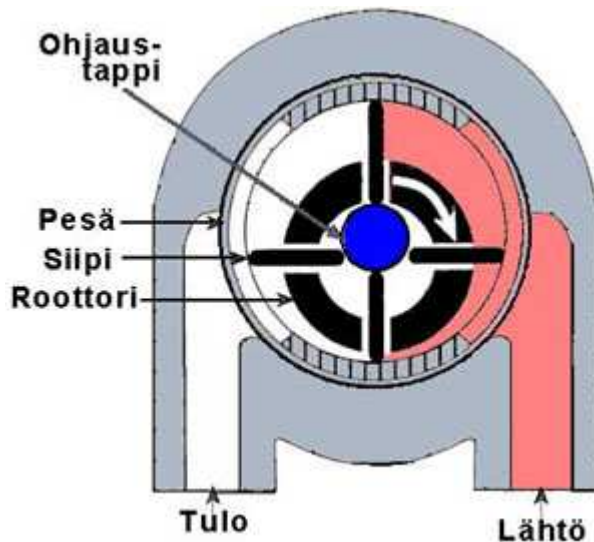


Kuva 4. Kolmeruuvinen ruuvipumppu [1].

#### 4.13 Siipipumput

Siipipumput voivat olla joko vakio- tai säätötilavuuspumppuja, joiden tilavuusvirran tuotto on tasaista, ja sitä on mahdollista muuttaa käyttökoneen kierrosnopeudesta riippumatta. Siipipumput voidaan jakaa kahteen ryhmään riippuen siitä ovatko siivet sijoitettu pyörivään roottoriin, vai liikkumattomaan staattoriin. Tyypistä riippumatta toimintaperiaate on pumpuissa sama; Neste siirretään imuliitännästä paineliitännään pumppukammion seinämän, roottorin ja siipien muodostamissa suljetuissa kammioissa. Siipipumpuilla on hyvä imukyky ja niiden hyötysuhde on noin 90 %. [2, s. 156–157.]

Kuvassa 5 on esitelty yksikammioisen siipipumpun osat. Roottori sijaitsee pumppukammiossa epäkeskeisesti, jolloin kahden siiven välinen tilavuus muuttuu jatkuvasti roottorin pyöriessä. Roottorin keskipistettä siirtämällä voidaan vaikuttaa tilavuusvirran suuntaan ja suuruuteen.



Kuva 5. Yksikammioinen säätötilavuuksinen siipipumppu [4].

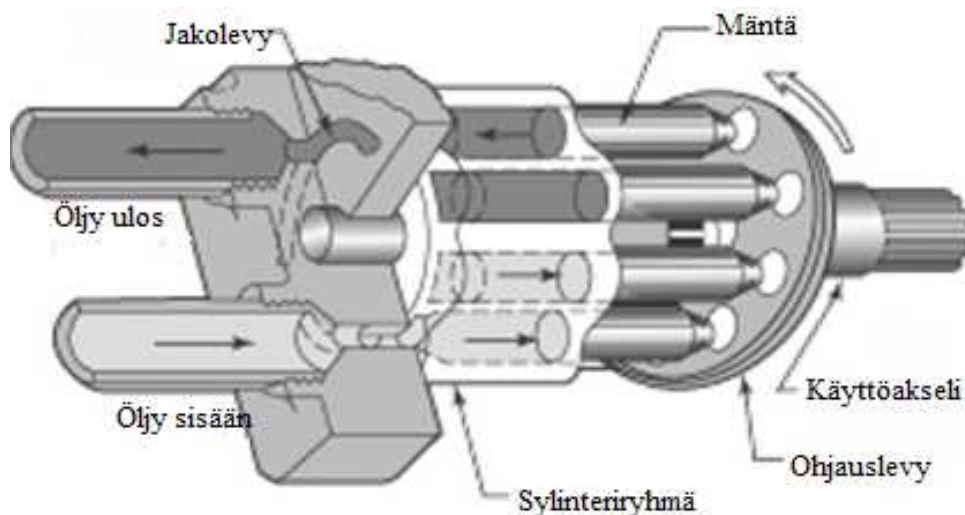
#### 4.14 Mäntäpumput

Mäntäpumput voivat olla joko vakio- tai säätötilavuuspumppuja ja ne jaotellaan mäntien sijoittelujen mukaan kolmeen ryhmään: Rivi-, radiaali- ja aksiaalimäntäpumppuihin. Mäntäpumppuissa neste siirretään imuliitännästä paineliitännään männän edestakaisen liikkeen avulla. Männän liikkeen vuoksi mäntäpumppujen tilavuusvirran tuotto vaihtelee suuresti, mutta sitä voidaan saada tasaisemmaksi lisäämällä mäntien määrää ja ohjaamalla niiden liikettä niin, että ne ovat toisiinsa nähden eri vaiheessa työkiertoa. Mäntäpumppuissa tarvitaan aina erillinen tilavuusvirran ohjausjärjestelmä, kuten paineohjaus venttiileillä. Liikkuvissa työkoneissa käytetään pääasiassa aksiaalimäntäpumppuja eli niiden sylinterin ja männät ovat akselin suuntaisia. Aksiaalimäntäpumppuissa sylinterit on sijoitettu käyttöakselin suuntaisesti ja pumppuja on kolmea eri tyyppiä. Suora- ja kulmaroottoripumput ovat säätötilavuuksisia ja staattoripumput ovat vakiotilavuuksisia. [2, s. 164–169.]

Staattoriaksiaalipumpussa männät ovat sijoitettu kiinteästi sylinteriryhmään ja yleensä niitä on 5-9. Liike saadaan aikaan akseliin kiinnitetyllä vinolevyllä ja pumpun imujakson aikana mäntien ulostyöntämisen apuna voidaan käyttää mäntien sisälle sijoitettuja jousia. Pumput ovat sopivia avoimiin järjestelmiin, ja niiden etuina ovat muun muassa yksinkertainen rakenne ja pienet vuotohäviöt. Haittapuolena voidaan mainita vinolevyn

tasapainottamattomat massavoimat ja mäntien kitkat. Pumppuja käytetään esimerkiksi maansiirtokoneissa, nostureissa ja liikkuvan kaluston työkoneissa. [2, s.169–170.]

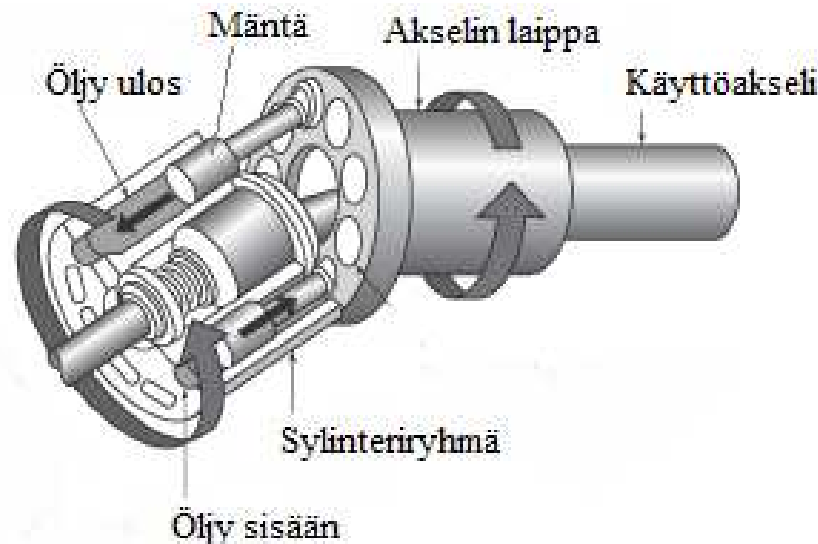
Suoraroottoripumppuja kutsutaan yleisesti vinolevypumpuiksi ja ne ovat yleensä säätötilavuuksisia. Niissä sylinteriryhmä pyörii käyttöakselin mukana toisin kuin staattoriaksiaalipumpuissa. Mäntiä on 5-9 ja ne on kiinnitetty tasoon, joka liukuu pitkin vinolevyä. Sylinteriryhmän pyöriessä vinolevy saa aikaan mäntien edestakaisen liikkeen. Pumppujen kierrostilavuutta säädetään muuttamalla vinolevyn ja käyttöakselin välistä kulmaa, joka mahdollistaa myös tilavuusvirran suunnan kääntämisen. Vinolevypumppujen etuna on yksinkertaisuus ja kierrostilavuuden helppo säädeltävyys. Imukyky on vinolevypumpuissa melko heikko, joten avoimissa järjestelmissä voidaan tarvita syöttöpumppu. Pumppuja voidaan käyttää myös suljetuissa järjestelmissä ja sen käyttökohteita ovat muun muassa laivanosturit, vinssit ja puristimet [2, s. 170–171]. Kuvassa 6 on esitelty vinolevypumpun tärkeimmät osat.



Kuva 6. Vinolevypumppu ja sen tärkeimmät osat [5].

Kulmaroottori- eli vinoakselipumpuissa mäntiä on 5-7 ja ne sijaitsevat pyörivässä sylinteriryhmässä, joka on kallistettu tiettyyn kulmaan käyttöakseliin nähden. Kulma saa aikaan mäntien liikkeen pumpun pyöriessä ja kulman suuruudella voidaan vaikuttaa mäntien liikkeen pituuteen, joka vaikuttaa kierrostilavuuteen. Yleisimmin käyttöakselin pyörimisliike välitetään sylinteriryhmälle männänvarsilla, mutta tämä voidaan tehdä myös esimerkiksi kardaniakselilla. Pumpun tuottoa ohjataan sylinteriryhmää vasten olevalla jakolevyllä, joka liikkuu sylinteriryhmän mukana, mutta pysyy kiinni runkoon

kiinnitetyssä liukupinnassa. Vinoakselipumppuja on sekä vakio- että säätötilavuuksisia ja niitä voidaan käyttää avoimissa ja suljetuissa järjestelmissä. Pumpuilla on kohtalainen imukyky, eikä se ole kovin herkkä hydraulikkanesteen epäpuhtauksille. Huonona puolelana voidaan pitää pumpun suurta kokoa. Käyttökohteita ovat esimerkiksi nosturit, maansiirtokoneet ja leikkurit [2, s.172]. Kuvassa 7 on esitelty vinoakselipumppu sekä sen osat.



Kuva 7. Vinoakselipumppu [7].

## 4.2 Venttiilit

Pumppujen tuottamaa hydraulista energiaa ohjataan ja säädetään erilaisilla venttiileillä. Painetta säättämällä vaikutetaan saataviin voimiin ja momentteihin. Tilavuusvirran säädöllä vaikutetaan liikenopeuksiin ja liikesuuntiin. Venttiilit jaotellaan käyttötarkoituksen mukaan karkeasti kolmeen ryhmään: Paine-, virta- ja suuntaventtiileihin. Lisäksi omat ryhmänsä muodostavat proportionaali-, servo- ja patruunaventtiilit, joilla myös voidaan ohjata ja säätää hydraulikkaa. Lisäksi venttiilit voidaan jakaa karan rakenteen perusteella istukka- ja luistirakenteisiin venttiileihin. Karan avulla joko aukaistaan tai suljetaan kanavia, joita pitkin hydraulikkaöljy pääsee virtaamaan toimilaitteille [2, s. 224–228]. Tässä kappaleessa esitellään hydraulikassa yleisimmin käytetyt venttiilit.

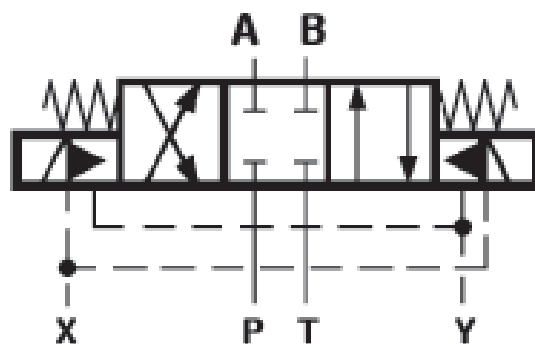
#### 4.21 Suuntaventtiilit

Suuntaventtiilit ovat yleensä luistityyppisiä venttiileitä, jotka ohjaavat pumpusta tulevan öljyn toimilaitteelle, esimerkiksi työsylinteriin. Sama suuntaventtiili ohjaa myös työsylinteriltä palaavan öljyn paluukanavaan ja sitä kautta takaisin säiliöön. [6, s. 50.]

Suuntaventtiilit erotetaan toisistaan liitäntöjen ja kytkentäasentojen perusteella. Työkonehydrauliikassa yleisimmin käytetty suuntaventtiili on 4/3-suuntaventtiili, jossa luku 4 tarkoittaa, että venttiilissä on neljä liitäntää ja luku kolme kertoo, että venttiilissä on kolme kytkentäasentoa, eli karan asentojen lukumäärän. Venttiileitä voidaan ohjata mekaanisesti, hydraulisesti ja sähköisesti. [2, s. 236.]

ON/OFF-venttiileitä voidaan käyttää vain tilavuusvirran suunnan ohjaamiseen. Niissä ei ole mahdollista säätää tilavuusvirran suuruutta, vaan valittavissa on vain tietyt kytkentäasennot. Tällaisia venttiileitä käytetään paljon muun muassa puutavarakuormaimen tukijalkojen ohjaukseen. Proportionaali- ja servoventtiileissä voidaan kara ohjata mihin tahansa asentoon. Tämä mahdollistaa sen, että tilavuusvirran suunnan lisäksi voidaan ohjata myös tilavuusvirran suuruutta portaattomasti, jolloin ohjaustarkkuus on huomattavasti parempi. [2, s. 236.]

Kuvassa 8 on sähköisesti esiohjattu 4/3 suuntaventtiili. Venttiilissä symboli P tarkoittaa paineliitäntää, symboli T tarkoittaa paluuliitäntää eli säiliölinjaa, symbolit A ja B tarkoittavat sylinterin liitäntää. Symbolit X ja Y ovat liitäntöjä venttiilin ohjaukselle.



Kuva 8. Sähköisesti esiohjattu 4/3-suuntaventtiili [9].

Vastaventtiili sallii hydraulikkajärjestelmässä virtauksen vain toiseen suuntaan ja estää vastakkaiseen suuntaan. Venttiilissä on sulkukappale, esimerkiksi kuula, joka pidetään jousen avulla istukkapintaa vasten. Venttiili avautuu, kun paine-ero sulkukappaleen yli kasvaa riittävän suureksi. Jousen avulla voidaan venttiilin asento valita vapaasti ja istukkarakenne takaa vuodottomuuden. [2, s. 231–233.] Kuvassa 9 on esitetty vastaventtiiliin piirrosmerkki.



Kuva 9. Vastaventtiiliin piirrosmerkki

#### 4.22 Proportionaaliventtiilit

Proportionaaliventtiileillä suoritetaan samat toiminnot kuin aiemmin esitellyilläkin, eli ohjataan tilavuusvirran määrää ja suuntaa sekä järjestelmän painetta. Niiden ohjaustapa poikkeaa kuitenkin merkittävästi muiden venttiilien ohjaustavoista. Niissä voidaan käyttää portaatonta ohjausta, kun taas aiemmin esitellyillä ohjaus oli kerta-asetteista tai portaallista. [2, s. 327.]

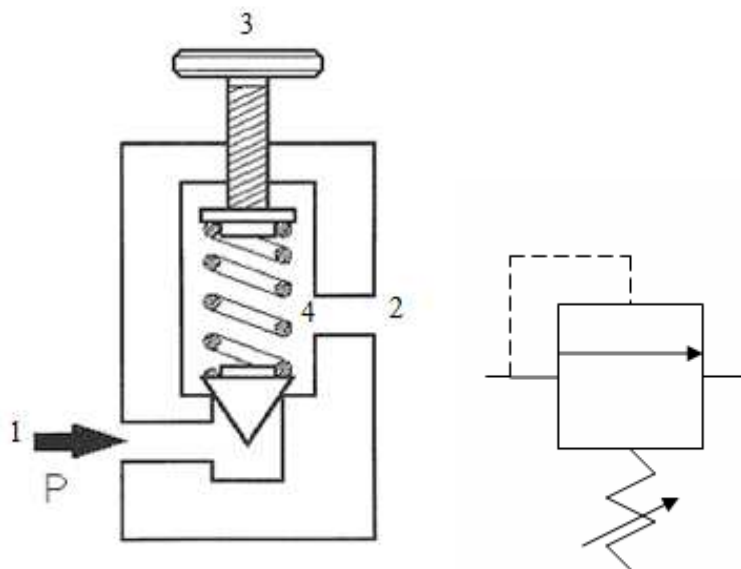
Proportionaaliventtiileissä virtaohjattuja tasavirtamagneetteja ohjataan ohjaus- eli tulosignaalia. Tulosignaalia eli virtaa säätämällä saadaan magneetille haluttu voima, jolloin esimerkiksi suuntaventtiilin karaa saadaan siirrettyä juuri haluttu matka, jolloin saadaan haluttu tilavuusvirta [2, s. 328–332]. Puutavarakuormaimen ohjaukseen tullaan käyttämään proportionaaliventtiileitä.

Käytettäessä proportionaaliventtiileitä saadaan joissakin tapauksissa vähennettyä järjestelmän komponenttimäärää, koska esimerkiksi yhdellä suuntaproportionaaliventtiilillä saadaan ohjattua sylinterin liikesuuntaa sekä haluttuja nopeuksia ilman erillisiä virtaventtiileitä. Komponenttimäärän vähenemisen vastapainona on kuitenkin se, että järjestelmän ohjaus monimutkaistuu. [2, s. 328–332.]

#### 4.23 Paineventtiilit

Paineventtiilit säättävät järjestelmässä vallitsevaa painetta ja ohjaavat järjestelmän toimintaa. Venttiilit voivat olla joko istukka- tai luistityyppisiä ja suoraanohjattuja tai esiohjattuja. Paineen säädöllä vaikutetaan sylintereistä saataviin voimiin, joita pitää joskus rajoittaa, etteivät ne mene rikki. Näitä venttiileitä ovat paineenrajoitus- ja paineenalennusventtiilit. Niiden toiminta perustuu jouseen, joka on lepoasennossa silloin, kun siihen ei kohdistu jousen voimaa voittavaa painetta. Paineen noustessa suuremmaksi kuin jousivoima, siirtyy kara lepoasennostaan puristaen jouta kokoon ja paineen noustua riittävästi venttiilin toiminta estyy. Jousivoiman ja karan siirtoon tarvittavan ohjauspaineen suuruutta voidaan säätää. [2, s. 254–258.] Paineenrajoitusventtiileitä käytetään puutavarakuormaimen venttiilipöydässä rajoittamaan järjestelmän ja työsylintereiden painetta.

Paineenrajoitusventtiilit ovat aina normaalisti suljettuja, eli öljy ei pääse virtaamaan sen läpi, ellei siihen kohdistu riittävää painetta. Ohjauspaineen saavuttaessa säädetyn avautumispaineen kara liikkuu ja öljy pääsee virtaamaan venttiilin läpi. Kuvassa 10 on säädettävä paineenrajoitusventtiili sekä sen piirrosmerkki. [2, s.259–262.]



1. Öljy sisään
2. Öljy ulos
3. Säättöruuvi
4. Jousi

Kuva 10. Säädetty paineenrajoitusventtiili [9] ja sen piirrosmerkki.

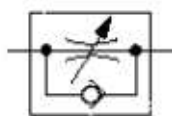


Ohjaavia venttiileitä eli sekvenssiventtiileitä ovat paineohjaus-, kevennys- ja vastapaineventtiilit. Paineohjausventtiili kytketään pumpun ja ohjattavien toimilaitteiden väliin ja niillä saadaan ohjattua toimilaitteiden toimintajärjestystä. Jokaista toimilaitetta kohden tarvitaan oma venttiili, joka sallii virtauksen toimilaitteelle, kun järjestelmä saavuttaa tietyn paineen. Kevennysventtiilien tehtävänä on ohjata järjestelmässä virtaava öljy takaisin säiliöön, mikäli mikään toimilaite ei sitä tarvitse. Vastapaineventtiili tunnetaan myös nimellä kuormanlaskuventtiili. Sen tehtävänä on esimerkiksi kuormaa laskiessa tuottaa sylinterin miinusliikkeelle vastapaine ja mahdollistaa näin kuorman hallittu laskeminen. [2, s. 279–298.]

#### 4.24 Virtaventtiilit

Tilavuusvirtaan ja pumpun tuottoon voidaan vaikuttaa joko säätämällä pumpun tuottoa tai kuristamalla virtausta. Kuristus aiheuttaa painehäviötä ja siksi kuristussäätöä ei käytetä suuritehoisissa järjestelmissä. Virtaventtiilit voidaan ryhmitellä niiden toimintatapojen perusteella vastus-, virransäätö, ja virranjakoventtiileihin. [6, s. 66–68.]

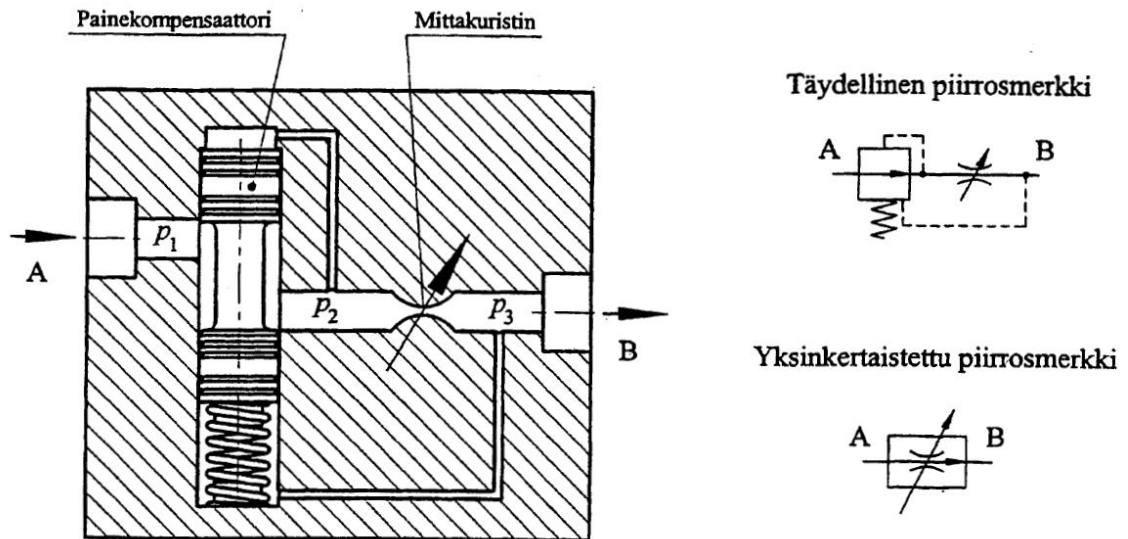
Vastusventtiilit ohjaavat tilavuusvirran suuruutta ja vaikuttavat näin ollen myös toimilaitteiden liikenopeuksiin. Vastusventtiilit eivät kuitenkaan pysty pitämään tilavuusvirtaa vakiona vaan ainoastaan ohjaamaan sitä pienemmäksi. Vastusventtiiliin voidaan yhdistää vastaventtiili, jolloin saadaan vastusvastaventtiili, sen tehtävänä on kuristaa virtausta toiseen suuntaan ja sallia vapaa virtaus toiseen suuntaan. Niillä voidaan muun muassa ohjata kaksitoimisen sylinterin plus- ja miinusliikkeen nopeutta omalla venttiilillään, joista kumpikin kuristaa poistuvia virtauksia [2, s 308–311]. Kuvassa 11 on esitetty vastusvastaventtiilin piirrosmerkki.



Kuva 11. Vastusvastaventtiili

Myös virransäätöventtiilit vaikuttavat tilavuusvirran suuruuteen ja toimilaitteiden liikenopeuksiin. Ne poikkeavat vastusventtiileistä siten, että niissä on säätöpiiri joka pitää

asetetun tilavuusvirran vakiona kuormituksen ja paineen vaihtelusta huolimatta. Säättiin piiriin kuuluu ainakin painekompensaattori, joka säilyttää vakio paine-eron mittakuristimen yli (kuva 12). Virranjakoventtiilit jakavat virtauksen toimilaitteille vakiosuhteisena riippumatta tulovirtauksen suuruudesta. Yleisimmin virtaus jaetaan 1:1, mutta myös muut jakosuhteet ovat mahdollisia. [2, s. 312–325.]



Kuva 12. 2-tievirransäätöventtiili ja sen piirrosmerkit [2, s. 313].

### 4.3 Letkut ja putket

Hydrauliikassa letkuja ja putkia käytetään energiansiirtolinjoina pumpulta toimilaitteelle tai paluulinjoina säiliöön. Molemmilta vaaditaan muun muassa hyvää lämpötilavaihteluiden kesto, taipuisuutta ja paineenkestävyyttä. Putkien materiaalina käytetään yleisimmin hiiliterästä tai ruostumatonta terästä. Putket voivat olla joko saumattomia tai hitsattuja putkia.

Letkuja käytetään hydrauliikkajärjestelmissä silloin, kun painetta on tuotava liikkuvaan tai kääntyvään toimilaitteeseen. Yleisimmin letkumateriaalina käytetään synteettistä kumia, mutta myös termoplastisia materiaaleja kuten polyamidia. Letkut jaetaan käyttöpaineen mukaan matalapaineletkuihin, keskipaineletkuihin ja korkeapaineletkuihin. Letku koostuu kolmesta osasta; sisäkerroksesta, vahvikekerroksesta ja päällyskerroksesta. Sisäkerros on kosketuksissa hydrauliikkaöljyn kanssa ja sen täytyy olla materiaalia, joka ei vaurioidu öljyn vaikutuksesta. Paineenkesto saadaan aikaan vahvikekerroksella,

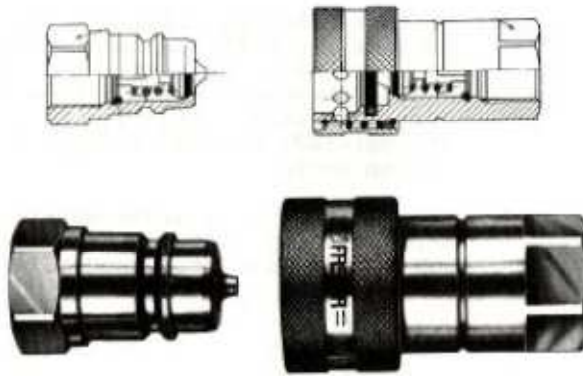
joka on puuvilla-, tekokuitu, tai teräskudosta tai terässpiraalia. Näistä parhaiten painetta kestävät teräsvahvikkeet. Päälyyskerroksen täytyy suojata letkua mekaaniselta rasitukselta, kuten hankaukselta sekä sen täytyy kestää hyvin erilaisia sääolosuhteita. [10, s. 15–23.]

#### 4.4 Liittimet

Hydraulikomponenteissa olevat liitännät ovat tyypiltään joko kierre- tai laippaliitäntöjä. Putket ja letkut täytyy varustaa sopivin liittimin, jotta liittäminen niihin onnistuu. Putkiin ja letkuihin asennetaan sopiva liitinnippa ennen kuin ne kiinnitetään hydraulikomponentteihin. Liitinnippa helpottaa asennusta ja estää putkien ja letkujen kiertymisen. Liittimet voivat olla joko kiinteitä tai purettavia liitoksia. [2, s. 418–419.]

Letkuliittimiä on kahta perustyyppiä. Puristettavat liittimet ovat kiinteitä eikä niitä voida irrottaa letkusta, kun taas kierrettävät liittimet ovat purettavia liitoksia, jotka voidaan asentaa uudelleen. Puristetut liitokset ovat varmempia kuin kierrettävät liitokset, erityisesti kylmissä olosuhteissa kierrettävät liitokset vuotavat helpommin. Kummassakin liitostavassa liitin koostuu letkun sisälle asennettavasta sisäholkista ja letkun päälle asennettavasta holkista. Putkiliittimiä käytetään yhdistämään putkia toimilaitteisiin. Yleisimpiä putkiliitosten liittämismenetelmiä ovat leikkuurengasliitokset, hitsattavat liitokset ja kiilarengasliitokset, joista yleisin on leikkuurengasliitos. [10, s. 41–42 ja 108–109.]

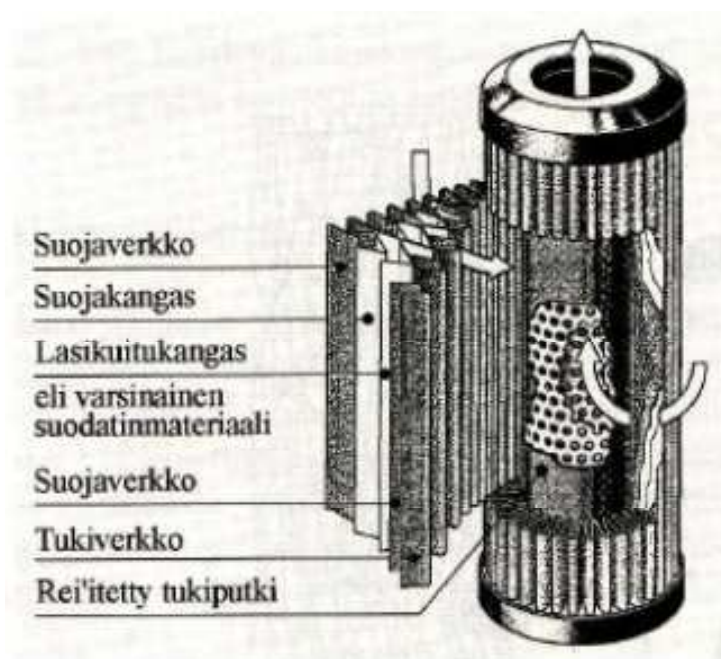
Pikaliitin muodostuu liitinrungosta ja liitinpistokkeesta. Niitä käytetään hydraulikkajärjestelmässä nopeaan toimilaitteiden kytkemiseen, joka mahdollistaa usean eri toimilaitteen käytön samalla hydraulikkajärjestelmällä. Pikaliittimiä käytetään erityisesti liikkuvan kaluston hydraulikkalaitteissa [10, s. 68]. Kuvassa 13 on tyypillinen pikaliitin.



Kuva 13. Liitinpistoke ja liitinrunko [10].

#### 4.5 Suodattimet

Suodattimien tehtävänä on pitää hydraulikkaöljy puhtaana ja varmistaa näin hydraulikkajärjestelmän pitkä käyttöikä ja häiriötön toiminta. Öljyn epäpuhtaudet ovat suurin syy järjestelmien toimintahäiriöihin ja ennenaikaisiin vaurioihin. Epäpuhtauksista seuraa osien kulumista, vuotoja ja tukkeutumia. Rakenteeltaan suodattimet ovat monikerroksisia koostuen suodatinmateriaalin lisäksi erilaisista tuki- ja suojakankaista (kuva 14.), mitkä estävät suodatinmateriaalin vauriot esimerkiksi virtausnopeuden vaihteluissa. [2, s. 373–386 ja 6, s.80–81.]



Kuva 14. Suodattimen rakenne [2, s.386].

Suodattimet ovat helposti vaihdettavia ja ne voivat sijaita imupuolella, painepuolella tai paluupuolella. Pumpun imupuolelle sijoitettu suodatin suodattaa vain isoimmat epäpuhtaudet, ettei suodatin aiheuta liian suurta virtausvastusta ja aiheuta näin kavitaatiovaaraa. Liikkuvassa kalustossa tehokas suodatin sijoitetaan yleensä paluupuolelle. Tämä tarkoittaa sitä, että venttiilistöstä palaava öljy kulkee suodattimen kautta ennen kuin se pääsee säiliöön. Paluusuodatinta valittaessa on otettava huomioon, että suodatin tulee mitoittaa suurimman mahdollisen paluuvirtauksen mukaan, ettei suodatinpanos vaurioidu tilavuusvirroista johtuvien paine-erojen seurauksena. Painepuolella sijaitsevan suodattimen läpi virtaa pumpusta tuleva paineistettu öljy ja sillä voidaan suodattaa pieniäkin epäpuhtauksia. Painepuolelle sijoitetun suodattimen täytyy kestää järjestelmän maksimipaine ja mahdolliset paineiskut. [6, s. 80–84]

## **5 Traktorin työhydrauliikka**

Puutavarakuormainta käytetään vuosimallin 2006 Massey Ferguson 5455 -traktorilla. Traktorin ulkopuolista hydrauliikkaa sekä nostolaitetta ohjataan pumpulla, jonka maksimiöljyvirtaus on 57 l/min ja paine 200bar. Traktorissa on vakiona kolme kappaletta 2-toimisia venttiileitä mekaanisin hallintavivuin varustettuna. Nostolaite on sähköisesti toimiva ja siinä on korkeus/työsyvyys säätö, laskunopeudensäätö, vetovastus- ja asennonsäätö sekä heilahduksen vaimennus. [11.]

Traktorin toista pumppua käytetään voimansiirron, lukkojen, nelivedon, ohjauksen ja sisäisen voitelun tarpeisiin. Sen maksimiöljyvirtaus on 43 l/min. Lisävarusteena traktoriin on saatavana ”Twin Flow yhdistetty virtaus”, jolloin saadaan yhdistettyä traktorin pumppujen tuotto, jolloin maksimiöljyvirtaukseksi saadaan 100 l/min. [11.]

## 6 Venttiilipöydät ja ohjaimet

Nykyisin käytössä oleva venttiilipöytä koostuu kuudesta mekaanisesti ohjatusta suunta-venttiilistä sekä kahdesta ON/OFF-venttiilistä. Puutavarakuormainta käytettäessä täytyy painava venttiilipöytä nostaa traktorin ohjaamoon, sekä kytkeä siihen hydraulikkaletkut. Ohjauskahvat sijaitsevat venttiilipöydässä, eikä niiden paikkaa voi itse valita.

Sähköisesti ohjattu venttiilipöytä mahdollistaa sen, ettei venttiilipöytää tarvitse tuoda ohjaamoon, vaan se sijaitsee kiinteästi puutavarakuormaimessa. Lisäksi ohjaukseen tarvittavat sähkökahvat on helppo sijoittaa ja niiden ohjauskaapelit on helppo tuoda ohjaamoon sekä irrottaa tarvittaessa. Puutavarakuormaimen venttiilipöytä koostuu yhteensä kahdeksasta venttiilistä, kuudesta sähköohjauksella toimivasta proportionaaliventtiilistä ja kahdesta ON/OFF-venttiilistä. Proportionaaliventtiileillä ohjataan portaattomasti kääntöä, nostoa, taittoa, jatketta, rotaattoria ja kouraa. ON/OFF-venttiileillä ohjataan kuormaimen tukijalkoja.

### 6.1 Venttiilien valinta

Venttiilipöydän venttiileiksi valitaan Nordhydraulicin RS220-sarjan venttiilit, koska ne sopivat hyvin sekä mitoitukseltaan että toiminnoiltaan käytettäväksi puutavarakuormaimessa. Venttiileitä voidaan käyttää sekä säätötilavuuksisissa- että kiinteätilavuuksisissa pumpuissa ja niitä voidaan liittää toisiinsa maksimissaan kymmenen kappaletta. RS220-sarjan venttiilien maksimivirtauksen kesto on 90l/min ja maksimipaineenkesto 350 bar. [13.] Ohjaus- ja pääventtiilien halutut ominaisuudet valitaan kolmesta osiosta, jotka esitellään seuraavaksi.

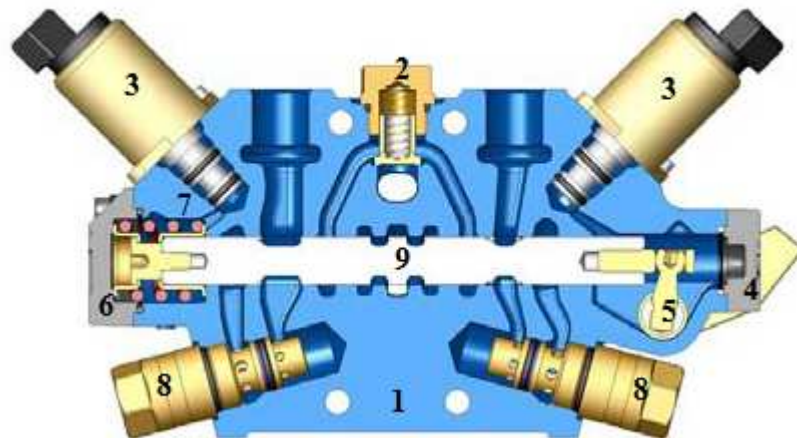
Tulopuolen ohjausventtiiliksi valitaan I01G-virtauksen säädöllä ja kevennysventtiilillä. Virtauksen säätöä ohjaa kolmitievirrantsäätöventtiili FK301 ja kevennysventtiilinä toimii säädettävä FU301-kevennysventtiili. Sisäänrakennettu ja virtauksen säädöstä erillään oleva kara yhdessä sähkömagneettisesti toimivan kevennysventtiilin kanssa mahdollistaa pumpun virtauksen ohjaamisen tankkiin ja hydraulikkaöljyn syötön katkaisemisen venttiililohkoon [13]. Kuvassa 15 on esitelty tulopuolen ohjausventtiilin osat.



1. Tulopuolen ohjausventtiili, I01G
2. Kolmitievirransäätöventtiili, FK301
3. Paineenrajoitusventtiili, TB12
4. Keskikanavan virtauksenmittaus, PF305
5. Kevennysventtiili, FU301
6. Sähkömagneettinen venttiili, E926

Kuva 15. Tulopuolen ohjausventtiili ja sen osat [12].

Pääventtiiliksi valitaan sähköhydraulisesti ohjattu S01G, jota on mahdollista ohjata myös manuaalisesti. Venttiili on varustettu MB22-vastaventtiilillä, suoraan ohjatulla ja säädettävällä TBD160-paineenrajoitusventtiilillä sekä ER52-sähkömagneettiventtiilillä, jolla saadaan esiohjauspaine venttiiliin karan ohjaamiseen. Keskitysrousella PS venttiiliä ohjataan proportionaalisesti ja rousella MS venttiilistä saadaan ON/OFF-tyyppinen [13]. Pääventtiileitä tulee venttiilipöytään kahdeksan kappaletta. PS-tyypin rousella varustettuja venttiileitä tulee 6 ja niillä ohjataan puutavarakuormaimen kääntöä, nostoa, taittoa, jatketta, rotaattoria ja kouraa. MS-tyypin rousella varustettuja pääventtiileitä tulee kaksi. Nämä venttiilit ovat ON/OFF-tyyppisiä ja niillä ohjataan kuormaimen tukijalkoja. Kuvassa 16 on esitelty pääventtiilin osat.

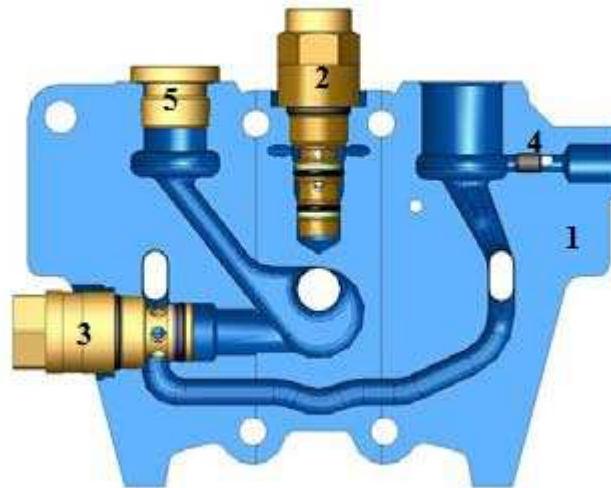


1. Pääventtiili, S01G
2. Vastaventtiili, MB22
3. Sähkömagneettiventtiili proportionaaliohjaukselle, ER52
4. B-puolen luistinohjaus, B01
5. Vipuohjaus, LMA
6. A-puolen luistinohjaus, 9
7. Keskitysjoussi, PS/MS
8. Paineenrajoitusventtiili, TBD160
9. Kara

Kuva 16. Pääventtiili ja sen osat [12].

Lähtöpuolen esiohjausventtiiliksi valitaan U01G varustettuna esiohjatulla paineventtiilillä TMB210/2 sekä esiohjatulla paineenalennusventtiilillä TRA63. Paineventtiilin tarkoituksena on turvata riittävä esiohjauspaine sähköhydraulista ohjausta varten ja paineenalennusventtiilillä hoidetaan öljyn syöttö ohjaimille, sekä tarvittaessa rajoitetaan esiohjauspainetta. Kuvassa 17 on esitelty lähtöpuolen ohjausventtiilin osat.





1. Lähtöpuolen ohjausventtiili, U01G
2. Esiohjauspaineen alennusventtiili, TRA63
3. Esiohjauspaineventtiili, TMB210/2
4. Tulppa, PMS6
5. Tulppa, PG04
6. Tulppa, PG06

Kuva 17. Lähtöpuolen ohjausventtiili ja sen osat [12].

Liitteessä 1 on esitetty valittujen venttiilien hydraulikkakaavio. Esiohjausliitännät on jätetty tyhjäksi, jotta hydraulikkakaavio pysyy selkeänä ja helposti luettavana. Liitteessä 2 on esimerkkikuva Nordhydraulicin venttiilipöydästä, joka selventää kuinka tulo- puolen ohjausventtiili, pääventtiilit ja lähtöpuolen ohjausventtiili sijaitsevat venttiilipöydässä.

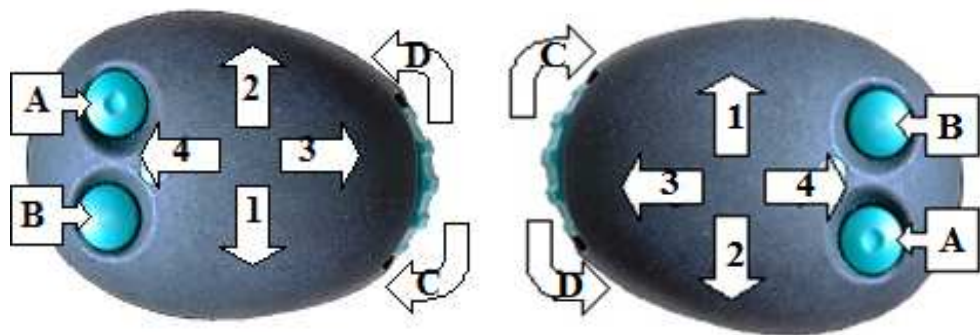
## 6.2 Ohjaimien valinta

Puutavarakuormaimen ohjaimiksi valitaan Rotec engineeringin valmistavat ERGO-DigiStick ohjauskahvat (kuva 18). Kahvat ovat suomalaista muotoilua ja suunnittelun lähtökohtana on ollut hyvä työergonomian saavuttaminen. Paras työasento saavutetaan, kun kahvat asennetaan kuljettajan reisien viereen  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  eteenpäin kallistettuna. Kahvojen lisäksi paketti sisältää ohjaus- ja virransyöttökaapelin. Kahvat ovat digitaalisia ja niissä on sisäänrakennettu elektroniikka hydraulikkaventtiilien ohjaamiseen. [13.]



Kuva 18. ERGO-DigiStick ohjauskahva [13].

ERGO-DigiStick ohjauskahvat ovat suunniteltu puutavarakuormaimen ohjaamiseen, joten kahvoihin on ohjelmoitu valmiiksi kuormaimen ohjaamiseen tarvittavat toiminnot. Kahvat asennetaan niin, että rullat ovat vastakkain eli rullia ohjataan peukaloilla. [13.] Kuvassa 19 on esitetty kahvojen ja rullien liikesuunnat sekä niiden toiminnot.



1. Taitto alas
2. Taitto ylös
3. Kääntö oikealle
4. Kääntö vasempaan
- A. Vasen tukijalka alas
- B. Vasen tukijalka ylös
- C. Puominjatkeen veto
- D. Puominjatkeen työntö

1. Pääpuomin lasku
2. Pääpuomin nosto
3. Rotaattori vastapäivään
4. Rotaattori myötäpäivään
- A. Oikea tukijalka ylös
- B. Oikea tukijalka alas
- C. Koura kiinni
- D. Koura auki

Kuva 19. Ohjauskahvat ja niiden toiminta [13].

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli korvata puutavarakuormaimen mekaanisesti ohjattu venttiilipöytä paremmalla ratkaisulla. Nykyisin käytössä olevan painavan ja kookkaan venttiilipöydän joutuu nostamaan traktorin ohjaamoon kuormainta käytettäessä ja uuden vaatimuksena oli, että se sijaitsee kiinteästi kuormaimessa. Venttiilipöydän sijaitessa kiinteästi kuormaimessa täytyi kuormaimen ohjausta varten valita myös käytettävät ohjauskahvat.

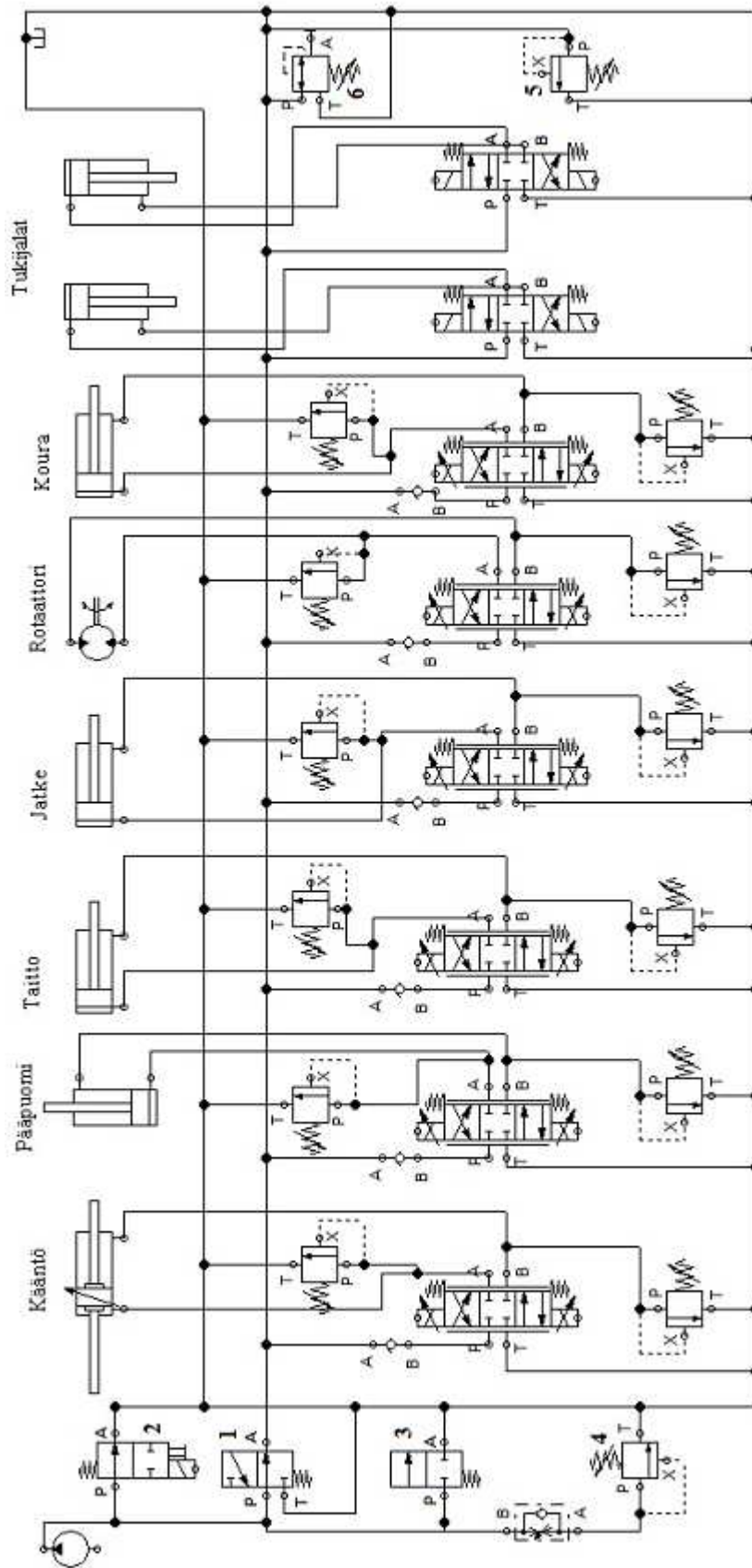
Opinnäytetyötä aloittaessani oli melko nopeasti selvää, että paras ratkaisu on sähköhydraulinen venttiilipöytä. Se sijaitsee kiinteästi kuormaimessa ja ohjaamoon tarvitaan vain ohjaimet kuormainta käytettäessä. Hydraulikasta minulla oli ennen työn aloittamista tiedot vain perusteista, joten alkuun aikaa kului paljon hydraulikkakomponenttien ja järjestelmien sekä työkonehydrauliikan tietojen syventämiseen. Tietoa edellä mainituista asioista on saatavilla paljon, mutta työkoneissa käytettävistä venttiilipöydistä ja niissä käytettävistä komponenteista tietoa oli haastavaa löytää, joten myös tiedon etsimiseen kului paljon aikaa. Suurin oppiminen tapahtui hydraulikan toiminnan ja siihen liittyvien komponenttien rakenteiden ja toimintaperiaatteiden yksityiskohtaisessa ymmärtämisessä.

Eniten työssä vei aikaa venttiilivalmistajien tarjoamiin komponentteihin ja niiden ominaisuuksiin tutustuminen. Valinnanvaraa on paljon eri tarkoituksia varten, mutta mielestäni onnistuin valitsemaan hyvän kokonaisuuden puutavarakuormaimen ohjaamista ajatellen. Nordhydraulicin RS220 sarjan venttiilit valittiin, koska ne sopivat sekä mitoitukseltaan että toiminnoiltaan hyvin puutavarakuormaimen ohjaukseen. Valituilla proportionaaliventtiileillä kuormaimen ohjauksesta tulee tarkka, koska venttiileitä voidaan ohjata portaattomasti. Tulo- ja lähtöpuolella olevat paineventtiilit varmistavat ja turvaavat järjestelmän toiminnan. Ohjauskahvat valittiin helppokäyttöisyyttä ja työergonomiaa silmällä pitäen. Valitut ERGO-DigiStick ohjauskahvat ovat tarkoitettu puutavarakuormaimen käyttöön ja varmistavat hyvän työasennon. Valittua venttiilipöytää ja ohjauskahvoja on pyritty havainnollistamaan kuvien avulla.

Prosessina opinnäytetyö oli haastava, mikä johtuu minulle melko tuntemattomasta aiheesta ja tiukasta aikataulusta. Mielestäni kuitenkin etenin opinnäytetyössäni loogisesti, osa-alue kerrallaan ja lopputuloksesta tuli tavoitetta vastaava.

## Lähteet

1. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, konetekniikan osasto. 2007.  
<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/.../hydraulitekniikka.pdf> 17.4.12.
2. Kauranne H., Kajaste J., Vilenius M., 2008. Hydraulitekniikka. Helsinki: WSOY
3. Wikipedia – Free Encyclopedia  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Gear\\_pump.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Gear_pump.png) 20.4.2012.
4. www.edu.fi. Moottorin voitelujärjestelmä.  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/suihkumoottorit/kuvat/Siipipyorap\\_pieni.jpg](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/suihkumoottorit/kuvat/Siipipyorap_pieni.jpg)  
20.4.2012.
5. Hydraulics & Pneumatics Magazine. Hydraulic pumps – part 2.  
[www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6402/TechZone-HydraulicPumpsM](http://www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6402/TechZone-HydraulicPumpsM) 21.4.2012.
6. Louhos P., Louhos J-P., 1992. Ajoneuvo- ja työkonehydrauliikat. Karjala-Dealers ky. 25.4.2012.
7. Hydraulics & Pneumatics Magazine. Hydraulic motors – part 2.  
<http://hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicPumpsM/Article/False/6428/TechZone-HydraulicPumpsM> 26.4.2012.
8. Hydrauliikan, pneumatiikan ja voitelun erikoislehti. Suuntaventtiilit.  
<http://www.fluidfinland.fi/wp-content/uploads/2012/01/10.Suuntaventtiilit.pdf>  
26.4.2012.
9. Hydrauliikan, pneumatiikan ja voitelun erikoislehti. Paineventtiilit.  
<http://www.fluidfinland.fi/wp-content/uploads/2012/01/7.Paineventtiilit.pdf>  
26.4.2012.
10. Korhonen E., Havumäki M., 1991. Hydrauliikan komponenttien oppi- ja käsikirja. Jyväskylä: Teknolit
11. Konekesko Group. Massey Ferguson 5400- sarja – tekniset tiedot.  
<http://www.konekesko.com/fi/Portals/0/Maatalouskoneet/Massey%20Ferguson/MF5400/Tekniset%20tiedot%205400.pdf> 3.5.2012.
12. Nordhydraulic AB. RS 220.  
[http://www.nordhydraulic.se/filer/sidor/id1007\\_RS\\_220\\_low.pdf](http://www.nordhydraulic.se/filer/sidor/id1007_RS_220_low.pdf) 7.5.2012
13. Rotec engineering Oy. Metsäkuormain.  
<http://www.rotecengineering.fi/assets/PDF-suomeksi/Suomenkielinen-ERGO-DigiStick-metskuormain.pdf> 16.5.2012.



1. Kevennysventtiili, 2. Sähkömagneettinen venttiili, 3. Kolmitie virransäätöventtiili, 4. Paineenrajoitusventtiili, 5. Esiohjauspaineventtiili, 6. Esiohjauspaineen alennusventtiili



1. Tulopuolen ohjausventtiili, I01G
2. Pääventtiilit, S01G
3. Lähtöpuolen ohjausventtiili, U01G